ساخت ماده‌ی مرکب آلیاژ آلومینیم A356/نیترید بور هگزاگونال و بررسی خواص مکانیکی آن*

مسعود مشرفی‌فر[1] امین حکیمی‌زاد[2]

چکیده

در این تحقیق، ماده‌ی مرکب آلومینیم با ذرات فاز دوّم از جنس نیترید بور هگزاگونال در سه حالت پودر خام، پودر پوشش داده شده با الکترولِس نیکل- فسفر و پودر پوشش داده شده با نیکل- فسفر بر روی پودر آلومینیم، ت شد. ذرات پودر توسط هم‌زن‌های متفاوت و با سرعت‌های چرخش مختلف در مذاب مخلوط شدند. آزمون‌های کشش و سختی‌سنجی بر روی نمونه‌های ماده‌ی مرکب انجام شدند و ماده‌ی مرکبی با بهترین خواص از میان آن‌ها انتخاب شد. سطح پودرهای آماده‌سازی شده برای ساخت ماده‌ی مرکب، آنالیز عنصری به‌وسیله‌ی میکروآنالیزور پراش انرژی پرتوی ایکس (EDAX) انجام شد. افزون بر این، سطح پوشش یافته‌ی پودر و سطح شکست ماده‌ی مرکب به‌منظور بررسی وضعیت پودر بعد از پوشش دهی و بعد از قرار گرفتن در زمینه، توسط میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شدند. بررسی‌های انجام شده نشان دادند که پوشش‌دهی پودر نیترید بور بر روی ذرات درشت‌تر از جنس زمینه از پوشش‌دهی الکترولس به‌تنهایی بر روی پودر مؤثرتر است. درصد بهینه‌ی پودر نیترید بور برای افزودن به مذاب آلومینیم برابر با ٦ درصد وزنی به‌دست آمد. افزون بر این، هم‌زن چهارپرّه با جریان شعاعی برای ساخت کامپوزیت آلومینیم/نیترید بور به‌عنوان یک انتخاب مناسب معرفی شد. در نهایت، نشان داده شد که بر خلاف آلیاژهای تک‌فازی، استحکام کششی مواد مرکب با سختی آن‌ها متناسب نیست، به‌گونه‌ای که با کاهش استحکام کششی، سختی ممکن است افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی ماده‌ی مرکب، نیترید بور، آلیاژ آلومینیم A356، الکترولِس نیکل- فسفر

Manufacturing A356 Aluminum Alloy/Hexagonal Boron Nitride Composite and Evaluation of its Mechanical Properties

M .Moshrefifar A. Hakimizad

Abstract

In the present investigation, a metal matrix composite consisting of A356 aluminum alloy matrix has been produced by the addition of boron nitride powder with three different conditions, i.e. raw powder, coated powder using Ni-P electroless bath and coated aluminum particles with Ni-P/BN surface composite. Moreover, parameters such as impeller shape and rotation speed have been examined in order to obtain their optimized conditions. Tensile and hardness measurement tests were carried out to choose the composite sample with superior mechanical properties. Surface of the powders were analyzed by EDAX. In addition, surface of the coated powder and the fractured surface of composite samples were examined using scanning electron microscope (SEM). The results showed the optimum value of added powder to be 6% after being coated on aluminum particles using the Ni-P electroless bath. Furthermore, the agitator of four-blade type with a radial flow was found to be a good choice for the manufacture of aluminum/boron nitride composite. It was shown that unlike single phase alloys, tensile strength of composite materials is not proportional to their hardness, e.g. a decrease in the tensile strength may cause an increase in the hardness of the composite.

Key Words Composite, Boron Nitride, A356 Aluminum alloy, Ni-P electroless

---

* نسخه‌ی نخست مقاله در تاریخ ۹۰/٤/۲۸ و نسخه‌ی پایانی آن در تاریخ ۹۲/٤/۱۸ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسوول: مربی، عضو هیأت علمی دانشگاه یزد

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی، دانشگاه یزد

مقدمه

از میان روش‌های متفاوت برای تولید مواد مرکب زمینه آلومینیم، روش ریخته‌گری گردابی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. از جمله مزیت‌های روش گردابی در تولید مواد مرکب ذره‌ای می‌توان به سرعت بالای تولید، عدم محدودیّت در شکل و اندازه‌ی قطعه، امکان استفاده از تجهیزات ریخته‌گری معمولی و سنتی و در نتیجه‌ی آن، هزینه‌های پایین‌تر تولید، اشاره کرد. خواص مکانیکی این مواد مرکب به عوامل مختلفی از قبیل خواص آلیاژ زمینه، خواص فاز دوّم، درصد حجمی فاز دوّم، پیوند فاز زمینه با فاز دوّم و نیز، میزان تخلخل آن بستگی دارد. افزون بر این، پراکندگی صحیح ذرات در شبکه، تأثیر سرعت ریختن و سرمایش، دمای مذاب‌ریزی و سیستم‌های راه‌گاهی را هم مورد توجّه قرار داد [1]. به عقیده‌ی اسکیبوتال، [2]، هزینه‌ی ساخت مواد مرکب با استفاده از روش ریخته‌گری گردابی حدود ۳۳ درصد تا نصف روش‌های دیگر است و برای تولید انبوه آن، هزینه‌ی تمام شده‌ی آن تا ۱۰ درصد تقلیل می‌یابد.

نیترید بور به‌علّت داشتن خواص مختلفی از جمله چگالی کم، نقطه‌ی ذوب بالا، رسانایی حرارتی بالا و مقاومت الکتریکی بالا، ماده‌ای قابل توجّه است [3,4]. گزارش‌های بسیاری وجود دارند که نشان می‌دهند مواد مرکب آلومینیم/نیترید بور (مکعبی) ترشوندگی بهتری را نسبت به دیگر دستگاه‌های سرامیک – فلز از خود نشان می‌دهند [1,5,6,7]. افزون بر این، ذرات نیترید آلومینیم می‌توانند در فصل مشترک ذره/زمینه تشکیل شوند [1,8,9,10]. نیترید بور در دو ساختار مکعبی و هگزاگونال می‌تواند به‌ترتیب برای افزایش استحکام و خاصیّت روان‌کنندگی حالت جامد، به زمینه‌های آلومینیمی اضافه شود.

آزمایش‌ها بر روی مواد مرکب متشکّل از آلیاژ آلومینیم AW-2124 تقویت شده با ذرات سرامیکی نیترید بور مکعبی با ۵، ۱۰، ۱۵ درصد وزنی انجام شده‌اند و بهبود خواص مکانیکی با افزودن این ماده به زمینه‌ی آلومینیمی به‌اثبات رسیده است [11]. افزون بر این، بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های انجام شده، رشد و جوانه‌زنی شبکه‌ی آلومینیم توسط ذرات نیترید بور تحت تأثیر قرار می‌گیرد و ریز شدن دانه‌های زمینه می‌تواند عامل بسیار مؤثری در بهبود خواص مکانیکی آلیاژ باشد [12].

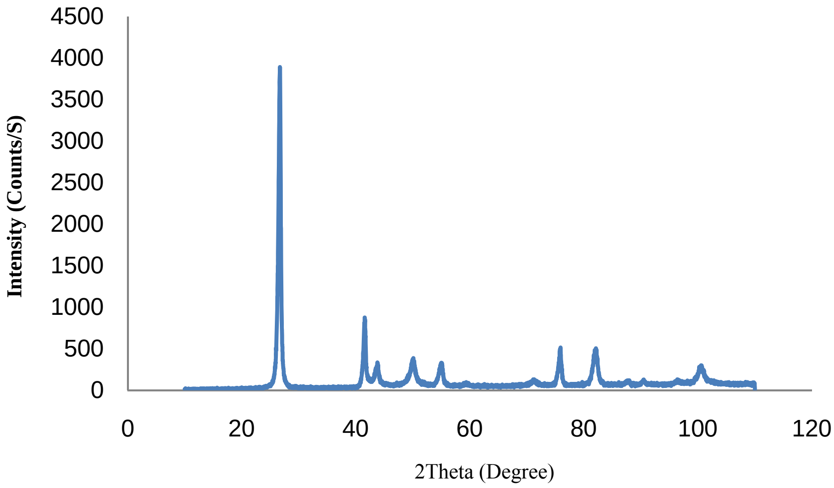
پروانه‌های همزن با توجه به طرّاحی آن‌ها، معمولاً دو نوع جریان محوری و شعاعی را ایجاد می‌کنند. پروانه‌های شعاعی مذاب را به‌صورت موازی با تیغه‌های پروانه و پروانه‌های محوری در جهت محور اصلی همزن پمپ می‌کنند، [13]، امّا توجه به این مطلب ممکن است ضروری باشد که در ساخت مواد مرکب حتّی با وجود پروانه‌های شعاعی، استفاده از این نوع تیغه‌ها یک جریان محوری را به‌وجود می‌آورد.

در این پژوهش، از ذرات نیترید بور برای اولیّن بار برای ساخت ماده‌ی مرکب به‌روش ریخته‌گری گردابی استفاده شد. چالش‌های اصلی در تولید این نوع ماده‌ی مرکب، از جمله مشکلات مربوط به چگالی کم و ترشوندگی بسیار ضعیف این ذرات توسط مذاب آلومینیم، بررسی شدند و راه‌حل‌هایی برای آن‌ها ارائه شد. تأثیر درصد وزنی پودر نیترید بور و نوع پوشش روی آن بر خواص کششی و سختی ماده‌ی مرکب زمینه آلومینیم بررسی شد و در نهایت، شرایط بهینه‌ی همزن برای رسیدن به بهترین خواص مکانیکی به‌دست آمد.

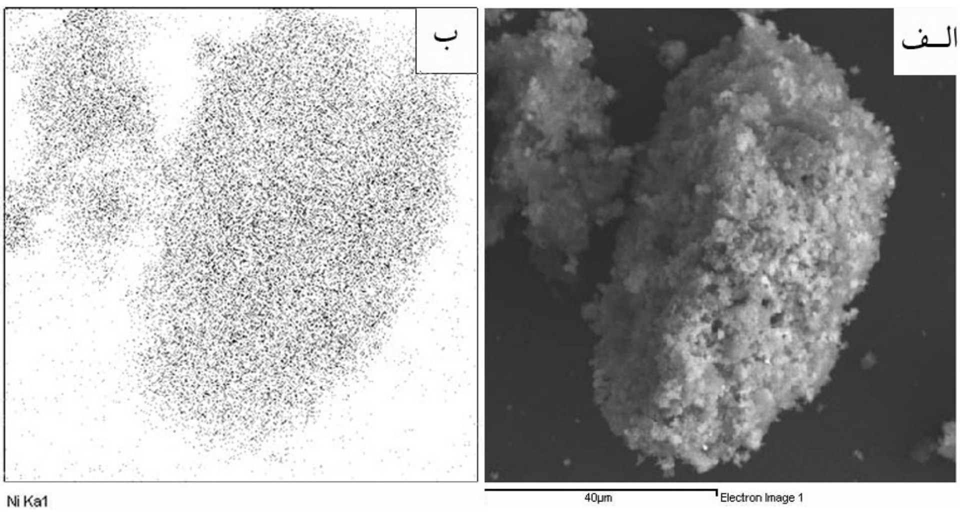
روش تحقیق

آماده‌سازی پودر نیترید بور هگزاگونال برای ساخت ماده‌ی مرکب. پودر نیترید بور هگزاگونال با اندازه‌ی متوسط ۱ میکرومتر از شرکت Zibo Shinezo چین خریداری شد. ذرات پودر برای از بین بردن ناخالصی‌ها از روی سطح آن‌ها، با اَستون شسته شدند و سپس، تمیز و خشک شدند. پس از آن، با تعیین سیکل آماده‌سازی بهینه برای پوشش‌دهی (در یک کار تحقیقی مجزا)، پودر آماده‌سازی شده به دو صورت مجزا (۱) و همراه با پودری از جنس آلومینیم زمینه (۲) به‌اندازه ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر، وارد حمّام پوشش‌دهی

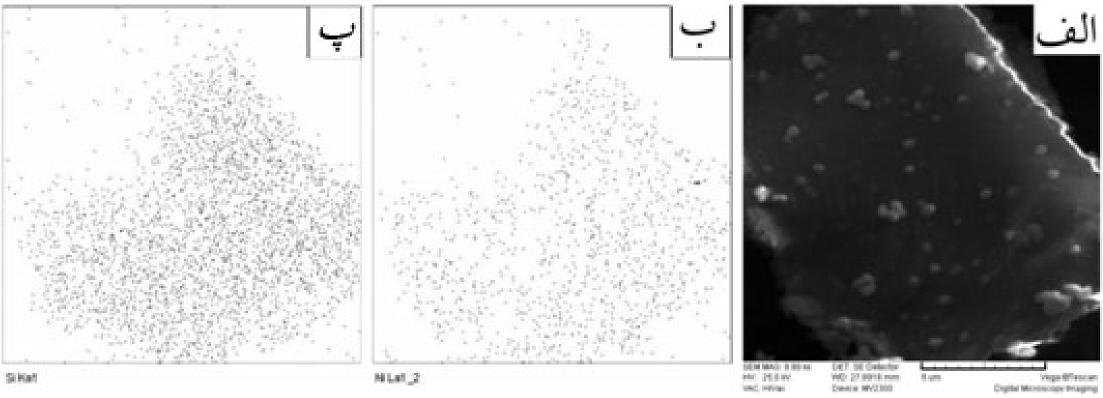
الکترولس نیکل- فسفر (Slotonip 70A) با ۴/۸- ۴/۵ = pH و دمای ۸۸ °C تا ۹۲ °C شد. هدف از انجام این مرحله، افزایش میزان ترشوندگی و اختلاط با مذاب آلومینیم حین ساخت مادهی مرکب بود. در ادامه، ترشوندگی ذرات بدون پوشش و با پوشش با یکدیگر مقایسه شدهاند. شکل (۱) الگوی XRD از ذرات نیترید بور مورد استفاده را نشان میدهد. در شکل (۲)، تصویر SEM از یک ذرهی کلوخه شده بههمراه نقشهی عنصری نیکل مربوط به سطح آن، نشان داده شده است. البته میزان چسبندگی ذرات بههم در این حالت بسیار کم است و با اعمال نیروی بسیار کم، دوباره شکل پودری خود با اندازهی اولیّه را بهدست خواهند آورد. در شکل (۳)، یک ذره پودر آلیاژ آلومینیم A356 که با انجام فرایند الکترولس نیکل- فسفر پوشش مادهی مرکب با ذرات فاز دوّم نیترید بور بر روی آن شکل گرفته است، مشاهده میشود. در نقشهی عنصری این ذره، افزون بر نیکل، عنصر سیلیسیم نیز دیده میشود که ناشی از وجود مقدار زیاد سیلیسیم در پودر آلومینیم A356 است (شکل 4).



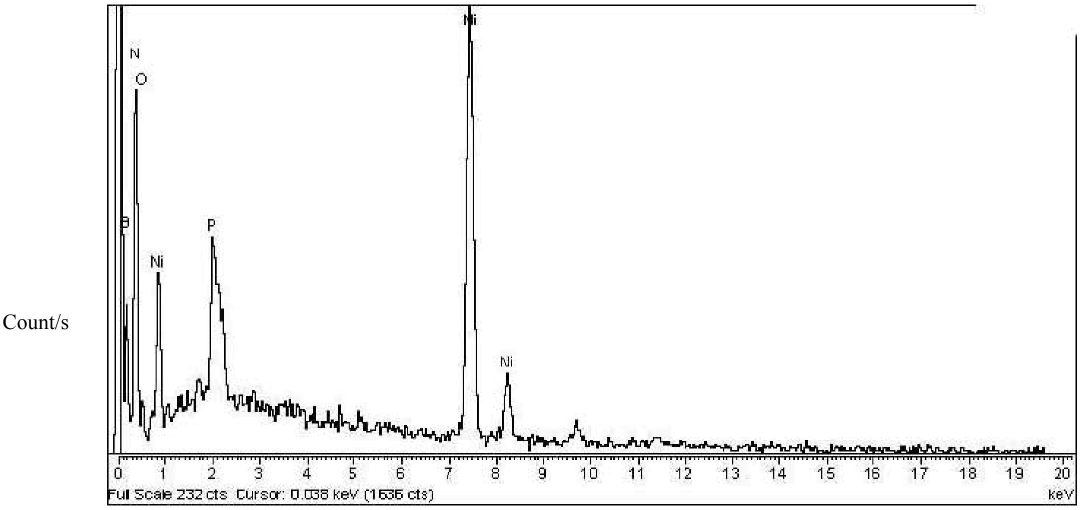
شکل ۱ الگوی XRD از ذرات نیترید بور



شکل۲ الف) ذرات پودر کلوخه شدهی نیترید بور که پوشش داده شده و سپس، در کوره خشک شده است، ب) نقشهی عنصری نیکل حاصل از آنالیز EDAX از سطح ذرات پودر

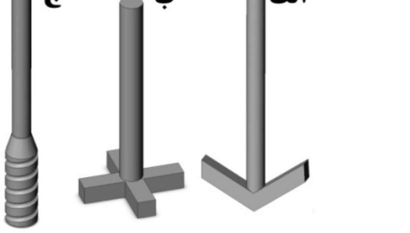


شکل۳ الف) تصویر SEM مربوط به پودر نیترید بورِ پوشش داده شده بر روی یک ذره پودر آلیاژ آلومینیم A356، ب) نقشه‌ی عنصری نیکل حاصل از آنالیز EDAX، پ) نقشه‌ی عنصری سیلیسیم



شکل٤ طیف EDS از ذرات BN(h) که بعد از عملیّات آماده‌سازی، به‌روش الکترولس پوشش داده شده است.

آماده‌سازی هم‌زن‌ها. از سه نوع هم‌زن برای توزیع یکنواخت پودر درون مذاب آلومینیم استفاده شد. هم‌زن‌ها با توجه به مراجع، [1,13,14]، به سه شکل فلش مانند، مارپیچی و چهار پرّه با انجام ریخته‌گری و ماشین‌کاری از فولاد ساده‌ی کربنی تهیه شدند و سپس، به‌کمک روش الکترولس نیکل- فسفر پوشش داده شدند و در نهایت، برای اطمینان از عدم آلودگی مذاب به‌وسیله‌ی هم‌زن‌ها، عملیّات پوشش‌دهی سرامیکی از نوع دی‌اکسید زیرکونیم بر روی آن‌ها انجام شد (شکل ۵). در این حالت، هم‌زن فلش مانند باعث ایجاد جریان محوری بیش‌تری نسبت به هم‌زن شعاعی و هم‌زن چهار پرّه باعث ایجاد جریان شعاعی بیش‌تری نسبت به هم‌زن محوری شد. هم‌زن مارپیچی با مشخصّات ۵ گام در ۱۲ سانتی‌متر و عمق شیار ۵ میلی‌متر، با هدف هم زدن بدون تلاطم و جلوگیری از ورود هوا، طرّاحی و ساخته شد.



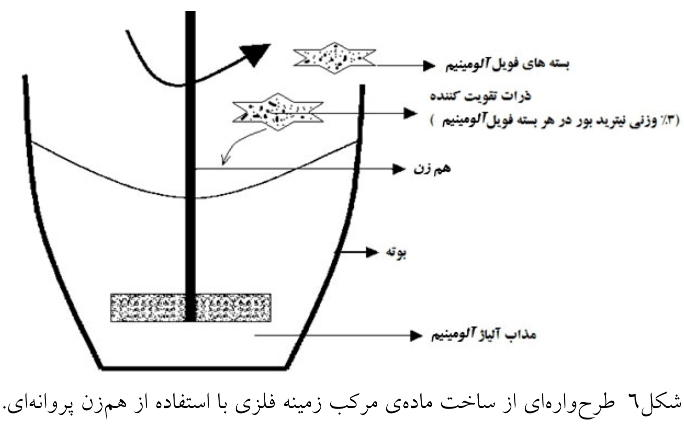
شکل۵ هم‌زن‌های مورد استفاده در این تحقیق برای ساخت ماده‌ی مرکب آلومینیم/نیترید بور (هگزاگونال)، الف) هم‌زن فلش مانند، ب) هم‌زن چهار پرّه، پ) هم‌زن مارپیچی

ساخت مادهی مرکب. از آلیاژ آلومینیم-سیلیسیم A356 بهعنوان زمینهی مادهی مرکب استفاده شد. این آلیاژ ابتدا در کورهی مقاومتی با استفاده از بوتهی گرافیتی در دمای ۸۰۰ °C ذوب شد. پس از خروج آلیاژ از درون کوره و استفاده از گاززدا، پودرِ پوشش داده شده در دمای ۷۵۰ °C و بهروش گردابی توسط همزنهایی با سرعت چرخش متغیر از ۱۲۰ تا ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، به آلیاژ اضافه شد. مطابق با اطلاعات موجود در مرجع [1]، همزنها تا ۳۵ درصد از ارتفاع مذاب، در زیر مذاب قرار داده شدند. قابل ذکر است که پودر در هر سه حالت و قبل از افزوده شدن به مذاب، تا دمای ۳۰۰ °C پیشگرم شد. ذرات پودر بهمیزانهای ۳، ٦، ۹ و ۱۲ درصد وزنی به مذاب آلومینیم اضافه شدند. شکل (٦) طرحوارهای از چگونگی ساخت مادهی مرکب را نشان میدهد. در نهایت، مذاب آلومینیم بههمراه پودر مخلوط شده در قالب فولادی که از مخلوط آب و یخ برای خنککنندگی آن استفاده شده بود، منجمد شد.

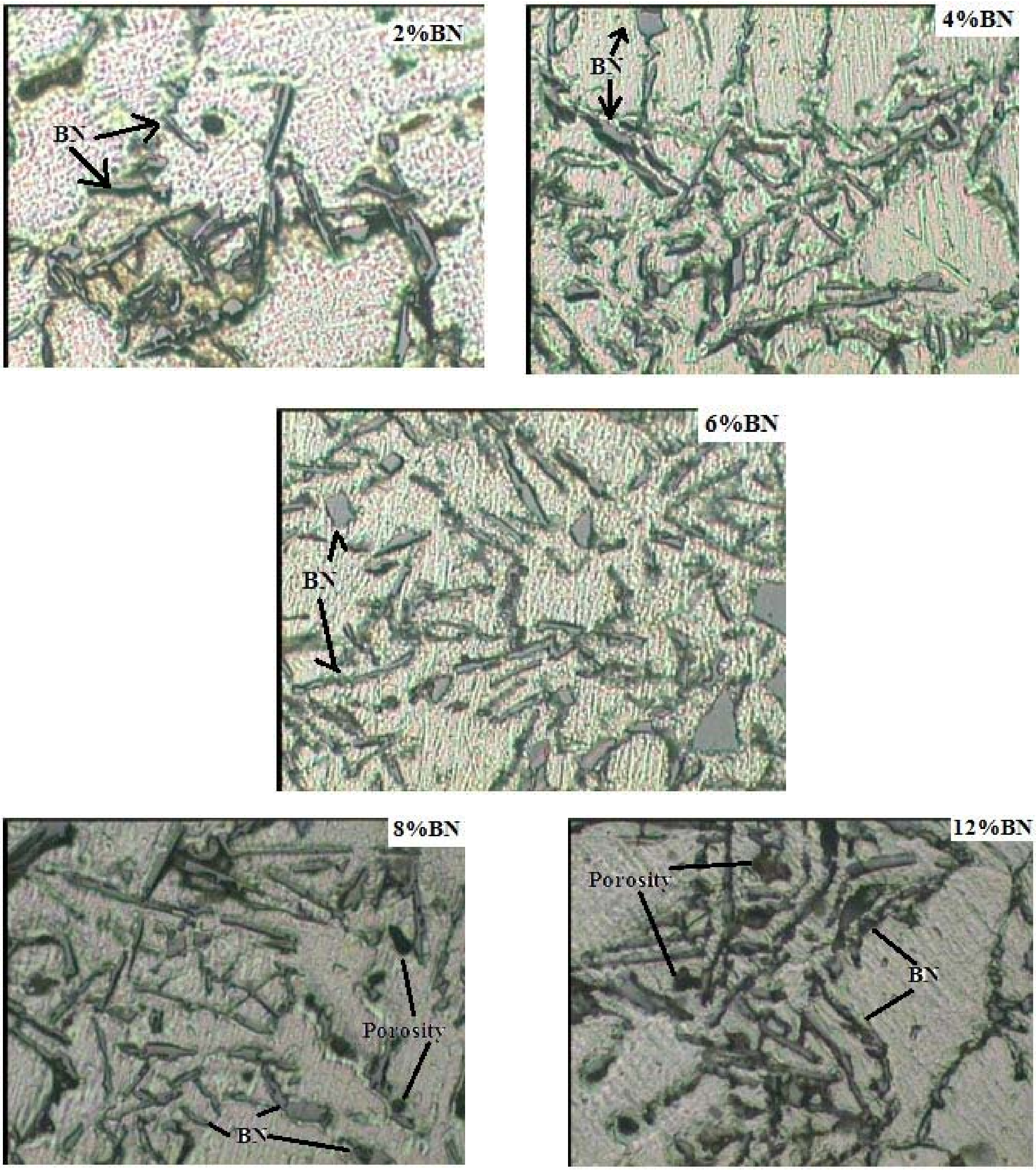
ارزیابی مادهی مرکب. آزمونهای کشش و سختیسنجی بر روی مادهی مرکب تولید شده انجام شدند. افزون بر این، نمونههای آزمون برای بررسی نحوهی توزیع ذرات تقویتکننده تحت تأثیر نوع پودر، شکل همزن و سرعت بهینهی چرخش همزن، متالوگرافی شدند (شکل ۷). سطح شکست مادهی مرکب تولید شده با شرایط بهینه بهکمک میکروسکپ الکترونی روبشی با هدف بررسی نحوهی قرارگیری و توزیع پودر در زمینهی آلومینیمی تصویربرداری شد.

نتایج و بحث

تأثیر نوع همزن. همزن فلش مانند با داشتن جریان محوری بزرگتر نسبت به جریان شعاعی، [14]، یکنواختی خوبی را از پودر درون مذاب ایجاد کرد، در حالیکه بهدلیل پهنای بیش از حد پرّههای آن، حبس هوا درون مذاب زیاد بود و نمونههای ریخته شده در این حالت، دارای مُک گازی و تخلخل زیاد بودند. با بهکارگیری همزن مارپیچی، اگر چه هیچ هوایی درون مذاب حبس نشد، ولی توزیع پودر یکنواخت نبود و تراکم ذرات پودر از مرکز بوته بهسمت دیوارهها کاهش نشان میداد. در مقایسه با دو نوع همزن ذکر شده، همزن چهارپرّه با جریان شعاعی بزرگتر نسبت به جریان محوری، [14]، برترین خواص مکانیکی را با توزیع یکنواخت پودر درون مذاب و میزان کم هوای محبوس شده، ایجاد کرد. اگر چه سرعتهای بهینه برای چرخش همزنهای مختلف با هم فرق داشتند، تنها دور بهینه برای همزن چهارپرّه با دقّت بالا اندازهگیری شد و مقدار آن برابر با ٦۰۰ دور بر دقیقه بهدست آمد. ملاک انتخاب دور بهینه، خواص مکانیکی مناسب از جمله سختی و استحکام کششی و نیز، توزیع یکنواخت پودر در زمینه بوده است. کار بررسی عوامل مؤثر بر توزیع ذرات پودر به تحقیق دیگری در این زمینه موکول میشود.



شکل٦ طرحوارهای از ساخت مادهی مرکب زمینه فلزی با استفاده از همزن پروانهای.



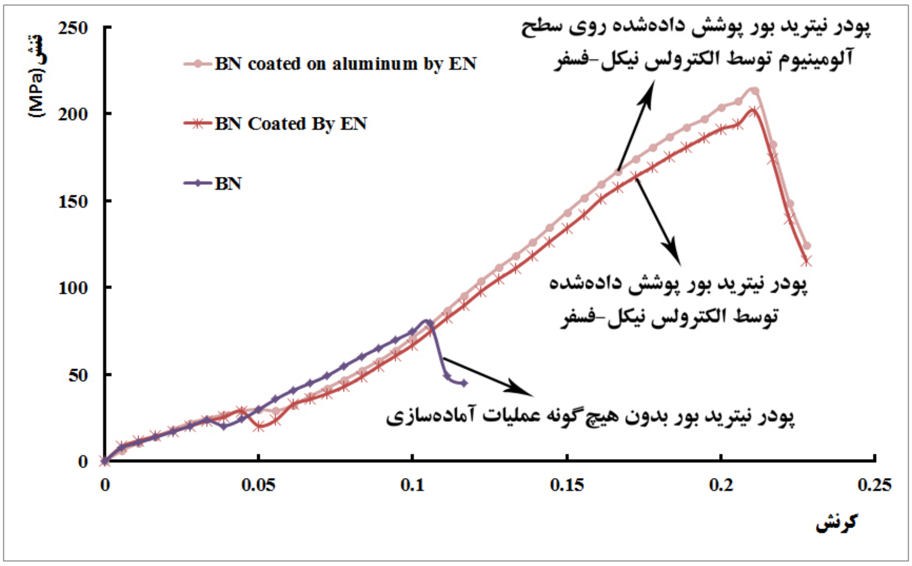
شکل۷ تصویرهای متالوگرافی از سطح مقطع نمونه‌های ماده‌ی مرکب تولید شده با درصدهای مختلف ذرات نیترید بور با بزرگ‌نمایی ۲۰۰X

تأثیر نوع پودر استفاده شده برای ساخت ماده‌ی مرکب. استحکام کششی مواد مرکب تولید شده با ٦ درصد نیترید بور در سه حالت مختلف پودر، در شکل(۸) مقایسه شده است. با توجه به نمودارهای تنش- کرنش، مشخص است که ماده‌ی مرکب ساخته شده با پودر نیترید بورِ پوشش داده شده بر روی ذرات آلومینیم، تنش و کرنش بالاتری را قبل از شکست تحمّل کرده است. پیدا کردن ذره‌ی نیترید بور در سطح شکست نمونه‌ها بسیار مشکل بود. علّت این را می‌توان به کم‌تر به‌دام افتادن پودر در زمینه و نیز، جدایش آسان پودر از سطح شکست هنگام جدا شدن دو سطح مکمّل شکست، نسبت داد. تفاوت میزان چسبندگی پودر به زمینه در شکل‌های (۹- الف) و (۹- ب) به وضوح دیده می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رود، ترشوندگی ذرات فلزی توسط مذاب آلومینیم بیش از ذرات سرامیکی است. شکل (۸) نشان می‌دهد که پودر

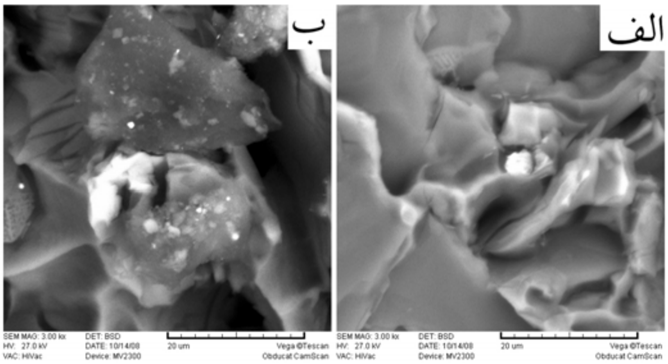
نیترید بور بدون پوشش ترشوندگی بسیار کمی را در مقایسه با پودر پوشش داده شده توسط الکترولِس نیکل- فسفر یا پوشش داده شده به‌شکل ماده‌ی مرکب بر روی ذرات آلومینیم، دارد.

تأثیر میزان پودر افزوده شده به ماده‌ی مرکب.

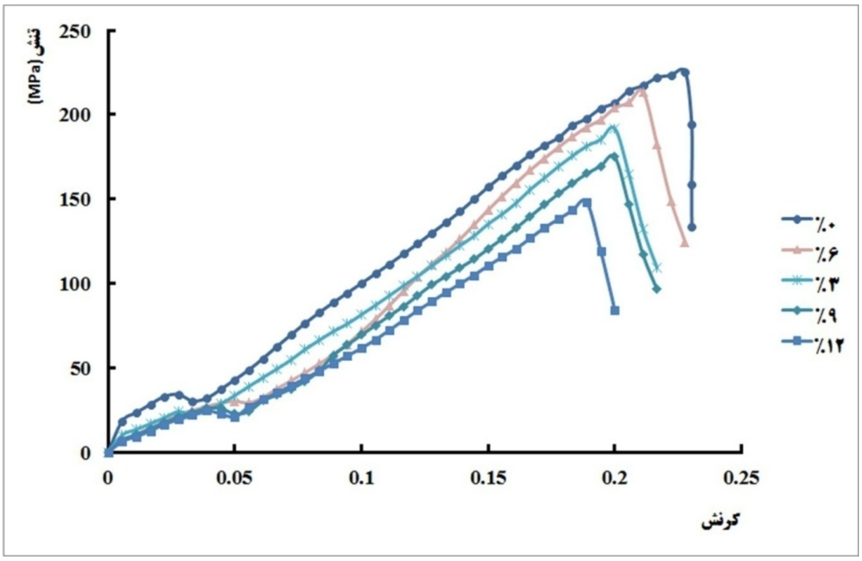
استحکام کششی، مقدار بیشینه‌ی تحمّل کرنش و سختی، از جمله خواص مکانیکی متأثر از میزان پودر افزوده شده به زمینه‌ی آلومینیمی بودند. میزان ٦ درصد پودر از بین درصدهای افزوده شده، بهترین خواص مکانیکی را ایجاد کرده است. در شکل (١٠)، تغییرات استحکام کششی و میزان بیشینه‌ی کرنش تا شکست با تغییر میزان پودر در مقایسه با آلیاژ بدون پودر به‌خوبی نشان داده شده است. شکل (١١) سختی آلیاژ را در همین شرایط نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودارهای تنش- کرنش دیده می‌شود، همه‌ی درصدهای پودر باعث کاهش استحکام کششی آلیاژ شده‌اند، امّا این تأثیر منفی برای ٦ درصد پودر بسیار کم‌تر است. تغییرات سختی نشان می‌دهد که افزایش پودر به هر میزان تا ١٢ درصد، باعث افزایش سختی زمینه شده است. کاهش سختی از ٦ به ١٢ درصد را می‌توان به سختی کم‌تر پودر نیترید بور هگزاگونال نسبت به زمینه‌ی آلومینیمی نسبت داد، امّا هنگامی که درصد این پودر کم است، این تأثیر بسیار کم‌تر می‌باشد. تأثیر جوانه‌زنی حین انجماد، به‌دلیل حضور پودر در زمینه است که منجر به ریزتر شدن دانه‌ها می‌شود و از رشد ستونی آن‌ها از دیواره‌ی قالب فلزی به‌سمت مرکز آن جلوگیری می‌کند. به‌ازای درصدهای بیش‌تر پودر، افزون بر آن‌که این تأثیر افزایش چندانی نمی‌یابد، حضور بیش‌تر ذرات پودری با استحکام پایین و مُک و آخال‌های احتمالی، کلوخه شدن و توزیع غیریکنواخت می‌توانند عواملی مؤثر برای کاهش استحکام باشند. مقایسه‌ی نمودارهای تنش- کرنش با تغییرات سختی، این نکته را نیز نشان می‌دهد که در مواد مرکب زمینه فلزی با فاز دوّم ذره‌ای، نسبتی بین استحکام کششی و سختی وجود ندارد. این به آن معنی است که اگر چه افزوده شدن فاز دوّم ممکن است از استحکام کششی آلیاژ بکاهد، امّا می‌تواند سختی آن را به‌میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد.



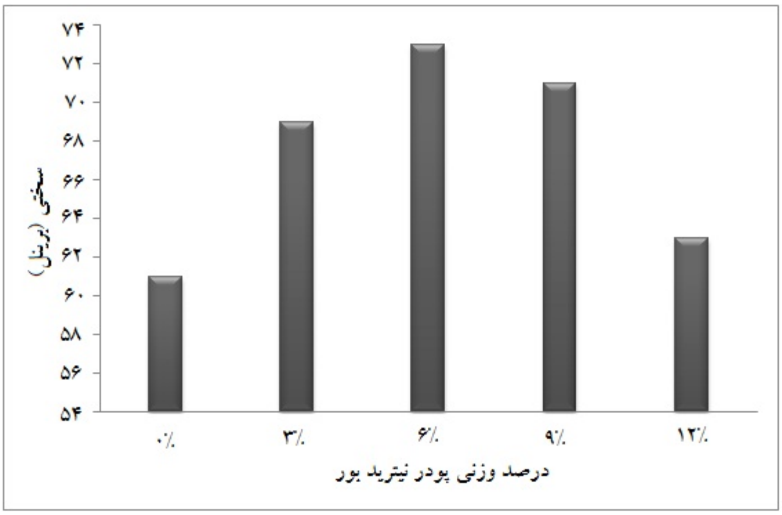
شکل٨ نمودار تنش-کرنش کششی مواد مرکب تولید شده با ٦ درصد وزنی پودر در حالت‌های متفاوت



شکل۹ ذره‌ی پودر نیترید بور به‌دام افتاده در زمینه‌ی آلومینیم، الف) بدون پوشش (پودر خام)، ب) پوشش داده شده بر روی ذرات آلومینیم A356 و سپس افزوده شدن به مذابی از همان آلیاژ



شکل۱۰ تأثیر میزان پودر افزوده شده به زمینه‌ی آلومینیم بر خواص کششی نمونه‌های ماده‌ی مرکب



شکل۱۱ سختی ماده‌ی مرکب ساخته شده بر حسب درصد پودر نیترید بور

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، امکان ساخت ماده‌ی مرکب از آلیاژ آلومینیم A356/ نیترید‌بور هگزاگونال بررسی شد. مهم‌ترین نتیجه‌های حاصل از این پژوهش عبارتند از:

۱- پودر نیترید بور هگزاگونال می‌تواند به‌عنوان یک روان‌کننده‌ی حالت جامد به زمینه‌ی آلومینیم افزوده شود. پوشش‌دهی پودر توسط الکترولس نیکل- فسفر می‌تواند با افزایش ترشوندگی پودر توسط مذاب آلومینیم و جلوگیری از جدایش پودر و زمینه در نتیجه‌ی اختلاف زیاد چگالی، به ساخت ماده‌ی مرکب کمک کند. به‌علّت پایدارتر بودن ذرات افزوده شده و نیز، نزدیکی زیاد چگالی آن به زمینه، پوشش‌دهی پودر نیترید بور بر روی ذرات درشت‌تر از جنس زمینه نسبت به پوشش‌دهی الکترولس به‌تنهایی بر روی پودر مؤثرتر خواهد بود. درصد بهینه‌ی پودر نیترید بور برای افزودن به مذاب آلومینیم، ٦ درصد وزنی به‌دست آمد و این می‌تواند به علّت برایند جوانه‌زنی از محل پودر و سختی پایین پودر هگزاگونال باشد.

۲- هم‌زن‌های مختلف به‌دلیل ایجاد نوع جریان‌های متفاوت، تأثیر زیادی بر خواص مکانیکی، توزیع یکنواخت فاز دوّم و تخلخل ماده‌ی مرکب دارند. هم‌زن چهارپرّه با جریان شعاعی، برای ساخت ماده‌ی مرکب آلومینیم/نیترید بور انتخاب مناسبی است.

۳- نمودارهای تنش- کرنش و سختی ماده‌ی مرکب آلومینیم/نیترید بور نشان دادند که بر خلاف آلیاژهای تک‌فازی، استحکام کششی ماده‌ی مرکب با سختی آن متناسب نیست و اگر استحکام کششی کاهش یابد، سختی ممکن است افزایش یابد.

مراجع

1. P. Sharma, G. Chauhan, N. Sharma, Production of AMC by stir casting- An Overview, *International Journal of Contemporary Practices(ISSN:2231-5608)*, Vol.2, Issue.1, (1998).
2. D.M. Skibo, D.M. Schuster, L.Jolla, Process for preparation of composite materials containing nonmetallic particles in a metallic matrix, and composite materials made by, *US Patent No. 4786 467,* (1988).
3. D.M. Stefanesfu, S. Ajuha, B.K. Dhindaw, R. Pha1nikar, Modeling of Particle Distribution in Equiaxed-grains Metal Matrix Composites, *Proc. of the 2nd Int. Conf. A107*, pp.73-80, (1989).
4. H. Lagace, McLeod, AD., Morris, P.L. Distribution in Equiaxed-grains Metal Matrix Composites, *Proc. of the 2nd Int. Conf. on The Processing of Semi-Solid Alloy and Composites, Cambridge, MA,USA*, *TMS*, pp. 406-416, (1993).
5. A. Mortensen, Mechanical and Physical behaviour of Metals and Ceramic Compounds, *Riso National Laboratory, Roski1de, Denmark*, pp. 141, (1988).
6. B.C. Pai, K.G. Satyanarayana, P.S. Robi, Effect of chemical and ultrasound treatment on the tensile properties of carbon fibers, *Journal of Materials Science Letter*. Vol(11) ,pp.779, (1992).
7. J. Narciso, A. Alonso, A. Pamies, C.G. Cordovilta, , E. Louis, Wettability of binary and ternary alloys of the system Al-Si-Mgwith SiC particulates, *Scripta Metallurgica et Materialia*, Vol(31),pp.1495-1500, (1994).

8. B.C Pai, Subrat Ray, K.V Prabhakar, P.K Rohatgi,Fabrication of aluminium-alumina (magnesia) particulate composites in foundries using magnesium additions to the melts, *Materials Science and Engineering*. Vol(24), pp. 31, (1976).

9. Y. Tsunekawa, H. Nakanishi, M. Okumiya, N. Mohri, Application of ultrasonic vibration to molten aluminum infiltration, Key Eng. *Trans Tech Public*, pp.104-107 (1995).

10. A.P. Levitt, H.E. Band, Method of making metal impregnated graphite fibers, *US Patent No.4,157,409*, (1979).

11.Polska Norma, PN-EN 573-3, Al and aluminium alloys Chemical compositions and plastic formed product types, (Polish Standard—in Polish), (1998).

12. L.A. Dobrza´nski, A. Włodarczyk, A. Adamiak, The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al_2O_3 ceramic particles, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol(175), pp. 186–191, (2006).

13. D.H. Perry, G.D.L. Perry’s. Chemical Engineering Handbook. 6th Edition. *New York: McGraw Hill*, (1984).

14. N. Aniban, An analysis of impeller parameters for aluminium metal matrix composites synthesis. *Materials and Design*, Vol(23), pp. 553–556, (2002).